E/CONF.39/D/74
10 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : D.8.1

Belgique

LAVERIES MOBILES ET SEMI-MOBILES POUR LA CONCENTRATION DES MINERAIS STANNIFERES

Par Alexandre PRIGOGINE,
Agrégé de l'Enseignement Supérieur,
Docteur en Sciences,
Membre de l'Académie Royale
des Sciences d'Outre-Mer,
Directeur du Service Métallurgique
de la Compagnie Congolaise des Grands Lacs
et de la Compagnie Belgo-Congolaise
d'Entreprises Minières

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LAVERIES MOBILES ET SEMI-MOBILES POUR LA CONCENTRATION DES MINERAIS STANNIFERES

Alexandre Prigogine

Agrégé de l'Enseignement Supérieur, Docteur en Sciences
Membre de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer
Directeur du Service Métallurgique de la Compagnie Congolaise des Grands Lacs et de la Compagnie Belge-Congolaise d'Entreprises Minières

1. Introduction.

En principe, nous pouvons envisager trois types de laveries mobiles ou semi-mobiles conçues pour l'exploitation de petits gisements (1) :

-les laveries mobiles montées complètement sur des chariots ou directement sur des camions;

-les laveries semi-mobiles dont les machines sont montées à l'aide de profilés facilement démontables, formant ainsi des unités très compactes;

-les laveries semi-mobiles constituées simplement par des machines déposées sur le sol et reliées entre elles par des transporteurs à courroie, des élévateurs, des pompes ou des goulottes suivant la pente du terrain.

En général, et spécialement en terrain accidenté, il est plus facile d'utiliser des laveries démontables des deux derniers types. Les machines seront alors montées soit sur un chassis en profilés, soit simplement sur des patins ou sur des madriers en bois. L'emploi du ciment sera réservé à quelques fondations absolument indispensables.

Pour des questions de qualification de la main-d'oeuvre, de pièces de rechange et d'éloignement des ateliers, les laveries proposées doivent être autant que possible standardisées et comporter un matériel robuste, d'un entretien facile.

Nous limiterons la discussion aux laveries pour le traitement des minerais stannifères qui cependant peuvent servir à la concentration d'autres minéraux de valeur à densité élevée.

2. Concentration des minerais alluvionnaires et éluvionnaires.

a) Laveries à sluice.

Les laveries à sluice gardent toute leur importance pour l'exploitation de petits gisements spécialement dans les régions d'un accès difficile ne disposant pas de force motrice bon marché, mais, par contre, d'un réseau hydrographique approprié. C'est ainsi qu'on ne connaît aucun autre appareil de concentration qui permette d'exploiter avec bénéfice de petits affluents étroits où la couche du gravier a une faible épaisseur.

Le sluice est capable de retenir, en absence d'argile et pour une faible proportion de sables noirs, 91 % d'or -0,5 +0,3 mm et 85 % de cassitérite -1 + 0,5 mm (2). Cet appareil convient donc parfaitement pour la concentration de graviers aurifères et stannifères, si la proportion d'or ou de cassitérite à respectivement -0,3 et -0,5 mm est faible.

(1) Les laveries flottantes ou montées sur chenilles, de grande capacité, alimentées le plus souvent par des draglines, sortent du cadre de notre sujet.

Le prix de revient du lavage d'un m3 de gravier (3), dans un simple sluice de 40 cm de largeur, d'une capacité horaire effective de 1,5 m3 de gravier, n'exigeant qu'un seul ouvrier-laveur (4) est de 9 F (5).

Dans le cas d'une laverie plus perfectionnée (double grizzly, élément primaire de 200 cm, classeur à courant porteur, undercurrent), traitant 60 m3 de gravier par poste de 8 heures et demandant 5 ouvriers, le prix de revient du traitement peut être calculé à 11 F, amortissements compris.

b)Laveries mécanisées.

L'unité de base des laveries mécanisées mobiles ou semi-mobiles est le jig qui, à surface égale, peut traiter un tonnage 10 à 20 fois supérieur à celui d'une table à secousses, tout en coûtant seulement deux fois autant. De plus, l'emploi du jig est justifié par les résultats obtenus récemment en Nigérie et en Malaisie (6) qui ont montré qu'il est possible d'étendre sensiblement la récupération du jig vers les fines granulométries en éliminant les boues et l'eau en excès dans l'alimentation du jig à l'aide d'hydrocyclones.

On choisira un jig léger (modèle 36"x36") du type à diaphragme. Pour le finissage, on s'adressera à un jig du même type où à un jig antisuccion.

Le classement en tête des laveries peut être effectué à l'aide d'un classeur fixe (grizzly, grille courbe, classeur à courant porteur), d'un trommel (pour graviers argileux) ou d'un crible vibrant.

Lorsque la hauteur nécessaire (3-4 m) au fonctionnement d'un hydrocyclone primaire n'est pas disponible, il faut s'adresser à une pompe à gravier. Ceci complique singulièrement l'installation et sa réalisation est réservée aux laveries d'une certaine importance (supérieure à 20 m3/h). Lorsque la laverie est alimentée par un élévateur hydraulique, l'eau en excès contenant l'argile en suspension est éliminée à l'aide d'un classeur à courant porteur.

Suivant le perfectionnement de la laverie, nous pouvons envisager un à trois étages de concentration. Le tableau 1 montre le flow sheet de quelques laveries typiques ainsi que les caractéristiques des appareils nécessaires pour leur réalisation pratique.

Le schéma L11 ne convient qu'aux petites installations et encore seulement si le gravier ne contient pas un pourcentage élevé de cassitérite fine. Beaucoup de laveries de moyenne importance sont conformes aux schémas L21 et L22. Les schémas L23 et L3 doivent être employés si le gravier est fortement argileux ou si l'alimentation est à une dilution élevée. La table à secousses(ou spirales) du schéma L3 évite la formation d'une charge circulante en cassitérite fine, lorsque la proportion de cette dernière est importante.

Les tableaux 2 et 3 montrent respectivement le coût des laveries décrites précédemment, calculé en nous basant sur les prix de revient des machines(rendues au Kivu), et le prix de revient du traitement d'un mètre-cube, sans et avec amortissements (7)(8).

---

(2)A.Prigogine, Récupération de l'or par sluicing, Mém.Inst.Roy.Col.Belge, Sc. techn., in-8°, VII, fasc. 1, 91 (1952); Echantillonnage et analyse des minerais hétérogènes à faible teneur, Mém.Acad.Roy.Sc.Outre-Mer, Sc.techn.,in-8°, XV, fasc. 1, 128 (1961).

(3)Nous insistons sur le fait que les prix de revient cités dans cet article se rapportent au traitement seul.

(4)Le coût d'un ouvrier a été admis à 100 F. Ce chiffre varie évidemment d'un pays à l'autre et figure seulement à titre indicatif pour permettre les comparaisons.

(5)Tous les prix cités dans cet article sont exprimés en francs belges.

(6)Voir les publications de F.A.Williams, J.H.Harris et I.R.M.Chaston.

(7)Les appareils, moteurs et alternateurs sont amortis en 20.000 heures; les frais de déplacement, de préparation du terrain et de montage en 6 mois (1.200 heures).

(8)Dans le cas des laveries mécanisées demandant d'importantes immobilisations de capitaux, il est souhaitable de travailler à deux et même à trois postes.

TABLEAU 1

Réalisation pratique des laveries pour graviers alluvionnaires

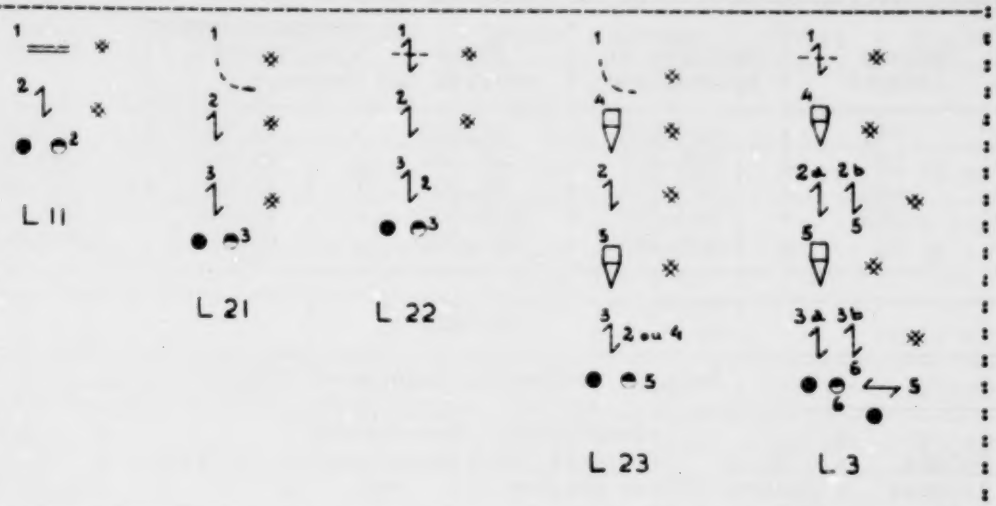

Schéma	L11	L21	L22	L23	L3
Capacité m3/8 h	30	60	60	150	150
1 Classeur	+	+	3'x6'	+	4'x8'
4 Hydrocyclone	-	-	-	(1)32"	(1)32"
2 Jig dégrossisseur	(1)36"	(2)36"	(2)36"	(3)36"	(3)36"
- Elévateur ou pompe	-	EH	P2"	P3"	P4"
5 Hydrocyclone	-	-	-	(1)10"	(2)10"
3 Jig finisseur	-	(1)36"	(1)36"	(1)36"	(1)36"
6 Table à secousses	-	-	-	-	+
Puissance inst.CV	3	9	15	17	42
Energie cons.CVh/m3	0,53	0,80	1,33	0,64	1,60
Main-d'oeuvre	3	2	2	2	3

EH : Elévateur hydraulique P : Pompe à sable

Comparons ces prix de revient avec ceux d'une laverie à sluice. Nous avions calculé précédemment le prix de revient du traitement d'un m3 à environ 10 F. La différence varie donc, suivant le schéma de la laverie admis (en excluant L11), de 1,21 (L23) à 11,89 F (L22). Elle correspond à une récupération supplémentaire de 0,02 à 0,2 kg de cassitérite (9) par m3 traité. Cette quantité est relativement faible et il existe des gisements où cette récupération supplémentaire sera facilement obtenue. Comme contre-partie, il faut citer l'importance du capital investi et l'entretien plus compliqué des laveries à jigs. Ces deux points peuvent faire adopter une laverie à sluice, même si la récupération escomptée est plus faible.

(9)Nous avons admis 60 F pour la valeur carreau mine d'un kilo de cassitérite.

TABLEAU 2

Coût des laveries pour graviers alluvionnaires

Schéma laverie	Machines et accessoires	Force motrice (a)	Prépar. terrain: déplacement, montage	Total
L11	145.000	25.000	10.000	180.000
L21	428.000	40.000	25.000	493.000
L22	585.000	95.000	35.000	715.000
L23	663.000	100.000	45.000	808.000
L3	1.532.000	290.000	90.000	1.912.000

TABLEAU 3

Prix de revient du traitement d'un m3

Schéma laverie	Frais directs (b)	Amortissem. laverie, force motrice	Amortissem. déplacement etc.	Total	Q.P. force motrice
L11	18,51	2,27	2,23	23,01	2,51
L21	10,90	3,13	2,78	16,81	2,33
L22	13,46	4,53	3,90	21,89	4,29
L23	7,23	1,98	2,00	11,21	1,97
L3	11,54	4,86	4,00	20,40	4,64

3. Concentration des minerais filoniens.

Les laveries gravimétriques pour minerais stannifères comportent une section de fragmentation et une section de concentration. Vu la faible capacité horaire de ces unités, le concassage doit être limité généralement à environ 18 mm, avec un minimum de 8 mm qu'il est difficile de dépasser. Ce résultat peut être atteint normalement en un ou deux étages de concassage, en travaillant en circuit fermé avec un tamis vibrant, pour arriver au diamètre de 8 mm.

Une grande simplification de la section de fragmentation peut être obtenue par l'emploi d'un broyeur à percussion. Il permet de réaliser un rapport de réduction très élevée et possède une capacité horaire importante par rapport à son poids. Toutefois, il ne convient pas aux minerais durs pour lesquels il conduit à un prix de revient prohibitif.

La section de concentration sera basée sur l'emploi de jigs. Le sluice peut servir comme pis-aller, dans le cas de laveries de très faible capacité (0,5 à maximum 2 t/h). Le minerai concassé, anguleux, se prête mal à la concentration par sluicing, les mixtes étant perdus en majeure partie. Il en résulte que le rendement de récupération d'un jig est nettement supérieur à celui d'un sluice.

L'ensemble du minerai concassé sera traité, sans classement, dans un jig qui retient même des mixtes relativement pauvres, surtout s'il est muni de quatre compartiments. Il faut prévoir de plus un broyage supplémentaire de ces mixtes pour libérer la cassitérite. Autrement, les flow sheets de ces laveries

(a) En dessous de 12 CV, la force motrice sera fournie par un moteur Diesel; au-dessus de cette valeur par un groupe électrogène.

(b) Les frais directs comprennent la main-d'oeuvre, la force motrice (combustible, fournitures, entretien), les fournitures, l'entretien et les divers.

TABLEAU 4

Réalisation pratique des laveries pour minerais stannifères primaires

Schéma	C12L10(c)	C12L11	C21L21	C22L22M(d)	C11L22	C13L3M
Capacité en t/h	0,5	2	5	5	15	15
Concassage à	25 mm	25 mm	18 mm	8 mm	20 mm	12 mm
1 (e)	GF	GF	GF	GF	-	TV 4'x8'
2	G 5"x6"	G 8"x10"	G 9"x16"	G 9"x16"	BP 1	BP 1
3	-	-	TV 2'x4'	TV 2'x4'	-	-
4	-	-	G 9"x16"	R 25"x14"	-	-
5	-	-	-	R 16"x10"	-	R 16"x10"
Dégrossisseur	S30	(1)J26"	(1)J36"	(1)J36"	(2)J36"	(2)J36"
Finisseur	-	-	(1)J18"	(1)J18"	(1)J36"	(2)J26"
Puissance inst.CV	5	12	46	65	37	67
Energie cons.CVh/t	6,00	4,50	6,80	9,20	1,52	2,80
Main-d'oeuvre	3	4	4	3	4	4

(e) 1 Crible primaire — BP1: Broyeur à percussion SAP1 — J : Jig
2 Concasseur primaire — G : Granulateur — R : Broyeur à rouleaux
3 Crible secondaire — GF : Grizzly fixe — S : Sluice
4 Concasseur secondaire
5 Broyeur pour mixtes

C11 Concassage en un étage, sans criblage
C12 idem , en circuit ouvert, avec criblage préliminaire
C13 idem , en circuit fermé , avec criblage préliminaire
C21 Concassage en deux étages, en circuit ouvert
C22 idem , en circuit fermé pour le second étage

seront semblables à ceux discutés précédemment (sans classeur en tête). L'emploi des hydrocyclones est justifié seulement si le minerai est argileux ou si la dilution à l'entrée de la section de concentration est trop élevée.

Les deux sections de la laverie doivent être équilibrées : plus la section de fragmentation est complète, plus la section de concentration doit être perfectionnée et vice versa.

Nous avons réuni, dans le tableau 4, les caractéristiques des appareils préconisés pour quelques laveries typiques. Il est possible d'atteindre même une capacité horaire de 15 t/h, mais en s'adressant au broyeur à percussion (p.ex.pour le traitement de pegmatites plus ou moins décomposées).

(c)L10 désigne un sluice.
(d)La lettre M indique que les mixtes sont broyés dans un appareil spécial.

Le coût de ces laveries et le prix de revient du traitement, en supposant que les laveries travaillent à un seul poste de 8 heures, résultent des tableaux 5 et 6.

TABLEAU 5

Coût des laveries pour minerais stannifères primaires

Schéma laverie	Machines et accessoires	Force motrice	Prépar. terrain, déplacement, montage	Total
C12L10	46.000	30.000	5.000	81.000
C12L11	257.000	45.000	20.000	322.000
C21L21	734.000	320.000	50.000	1.104.000
C22L22M	1.400.000	410.000	80.000	1.890.000
C11L22	654.000	190.000	50.000	894.000
C13L3M	1.989.000	410.000	120.000	2.519.000

TABLEAU 6

Prix de revient du traitement d'une tonne

Schéma laverie	Frais directs	Amortissem. laverie, force motrice	Amortissem. déplacement etc.	Total	Q.P. force motrice
C12L10	155,00	7,60	8,32	170,92	24,00
C12L11	69,60	7,55	8,35	85,50	13,22
C21L21	47,75	10,54	8,34	66,63	19,20
C22L22M	54,70	18,10	13,37	86,17	25,30
C11L22	15,17	2,82	2,78	20,79	4,37
C13L3M	20,28	8,01	6,68	34,97	7,70

Si nous excluons la laverie de 0,5 t/h, nous constatons que le prix de revient du traitement, amortissements compris, des laveries d'une capacité de 2 à 5 t/h, comprenant des concasseurs classiques, varie de 67 à 86 F, ce qui correspond à une teneur de 1,1 à 1,4 kg/t de SnO_2. Le dernier chiffre s'applique déjà à une installation assez perfectionnée, avec broyage à -8 mm. Les laveries, où la fragmentation est faite à l'aide d'un broyeur à percussion, conduisent à un prix de revient particulièrement faible, de 21 à 35 F, soit de 0,350 à 0,580 kg/t, à condition que le minerai ne soit pas abrasif.

En remplaçant le sluice (L10) par un simple jig (L11), le prix de revient du traitement augmente de 53 F (10), pour une laverie de 0,5 t/h, et de 19 F, pour une laverie de 2 t/h. Cette différence correspond à respectivement 0,9 et 0,3 kg/t. Comme, surtout dans le premier cas, le minerai (récolté normalement par glanage) envoyé à la laverie doit avoir une teneur élevée, pour que l'exploitation soit rentable, on arrive à la conclusion que le remplacement du sluice par un jig est justifié.

Notons encore, pour terminer, que ces laveries peuvent servir comme unités d'échantillonnage et même de laveries-pilote, si l'exploitation montre que le gisement possède, en réalité, une extension considérable.

(10) Ce chiffre élevé est dû principalement à la main-d'oeuvre plus nombreuse (4 ouvriers contre 3 à la laverie C12L10).

784 F - Oct. 1962 - 1,000